

Abstract (Basic): DE 10207186 C1

NOVELTY - Interferometry device has a short coherence interferometer (6) with a short coherence light source (7), a reference reflector (21) and a detector (25), receiving an interference signal obtained by combining a measuring light beam (16) and a reference light beam (22). A variable wavelength selection device (30) is inserted in the light path between the beam combining device (10) and the detector for selection of the detection light beam (24) in dependence on its wavelength, with variation of the selected wavelength numbers dependent on the scanning position.

USE - The low coherence interferometry device is used for optical object scanning, e.g. for optical coherence tomography.

ADVANTAGE - Allows rapid scanning repetition rate.

DESCRIPTION OF DRAWING(S) - The figure shows a principle representation of a low coherence distance scanning device.

Short coherence interferometer (6)

Short coherence light source (7)



13 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

12 Patentschrift
10 DE 102 07 186 C 1

51 Int. Cl. 7:
G 01 B 9/02
G 01 B 11/24
G 01 N 21/47

21 Aktenzeichen: 102 07 186.1-52
22 Anmeldetag: 21. 2. 2002
43 Offenlegungstag: -
45 Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: 17. 4. 2003

DE 102 07 186 C 1

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

73 Patentinhaber:
Knüttel, Alexander, Dr., 69488 Birkenau, DE
74 Vertreter:
Patentanwälte Dr. H.-P. Pfeifer & Dr. P. Jany, 76137
Karlsruhe
72 Erfinder:
gleich Patentinhaber

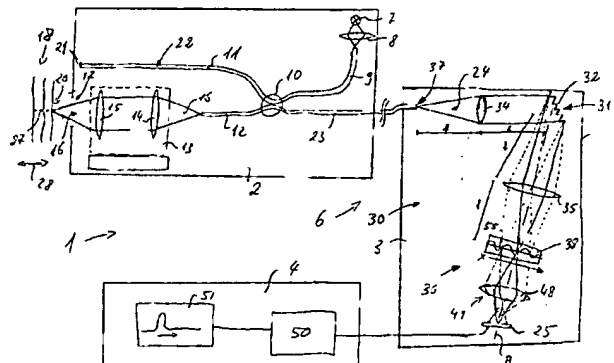
56 Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
gezogene Druckschriften:

DE 100 33 189 C1
DE 197 04 602 A1
DE 43 09 056 A1
US 61 44 456 A
US 61 11 645 A
US 53 21 501 A
WO 97 27 468 A1
WO 95 33 971 A1

SCHMITT, J.M.: Compact in-Line interferometer for
low-coherence reflectometry, in: Optics Letters,
Vol. 20, No. 4, 1995, S. 419-421;
KWONG, K.F. et al.: 400-Hz mechanical scanning
optical delay Line, in: Optics Letters, Vol. 18,
No. 7, 1993, S. 558-560;
TEARNEY, G.J., et al.: High-speed phase- and
group-delay scanning with a grating-based phase
control delay Line, in: Optics Letters, Vol. 22,
No. 23, 1997, S. 1811-1813;

54 Niederkohärenz-interferometrisches Gerät zur lichtoptischen Abtastung eines Objektes

57 Niederkohärenz-interferometrisches Gerät zur lichtoptischen Abtastung eines Objektes (18) mit einem Kurzkohärenz-Interferometer (6), welches eine kurzkohärente Lichtquelle (7), einen Referenzreflektor (21) und einen Detektor (25) umfaßt, wobei das von der Lichtquelle (7) ausgehende Licht auf zwei Lichtwege (11, 12) aufgeteilt wird, wobei ein erster Teil als Meßlicht (16) auf das Objekt gestrahlt und ein zweiter Teil als Referenzlicht (22) auf den Referenzreflektor (21) gestrahlt wird und das Meßlicht (16) und das Referenzlicht (22) nach Reflexion an dem Objekt (18) bzw. dem Referenzreflektor (21) an einer Strahlzusammenführung (10) so zusammengeführt werden, daß ein Interferenzsignal entsteht, das eine Information über die Stärke der Reflexion des Meßlichts in Abhängigkeit von der jeweils eingestellten Abtastposition enthält. Um eine extrem schnelle Abtastung zu ermöglichen, ist in dem Lichtweg des Detektionslichts zwischen der Strahlzusammenführung (10) und dem Detektor (25) eine variable Wellenlängenselektionseinrichtung (30) angeordnet, durch die das Detektionslicht (24) in Abhängigkeit von seiner Wellenlänge derartig selektiert wird, daß zu dem Detektor (25) selektiv bevorzugt Licht mit Wellenlängen gelangt, die einer vorbestimmten Folge von Wellenzahlen k entsprechen. Zur Variation der Abtastposition längs der Abtaststrecke (27) sind unterschiedliche Folgen der Wellenzahlen k einstellbar.



DE 102 07 186 C 1

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Niederkohärenz-interferometrisches Gerät zur lichtoptischen Abtastung eines Objektes durch Detektion der Position von lichtemittierenden Stellen, die in unterschiedlichen Abständen von dem Gerät längs einer in Abtastrichtung (d. h. in Richtung des detektierenden Lichtstrahles; "z-Richtung") verlaufenden Abtaststrecke lokalisiert sind. Nachfolgend wird dies als Low Coherence Distance Scan (LCDS) bezeichnet.

[0002] Derartige Geräte und die entsprechenden Verfahren werden zur Untersuchung unterschiedlicher Objekte eingesetzt. Sie ermöglichen es, mit höchster Präzision die Entfernung zu einem oder mehreren streuenden Objektpunkten zu bestimmen oder bildlich darzustellen. Wichtige Anwendungsgebiete sind die automatisierte Vermessung von Objektoberflächen und die Untersuchung des optischen Streuverhaltens innerhalb eines Objektes, wobei der letztere Anwendungsfall vor allem auf medizinischem Gebiet (Gewebediagnostik) bedeutsam ist.

[0003] Bei manchen Anwendungsfällen ist es ausreichend, das Objekt eindimensional, also nur längs einer in Strahlrichtung verlaufenden Abtaststrecke, zu untersuchen. ("Longitudinalabtastung", englisch "longitudinal scan"). In der Mehrzahl der Anwendungsfälle geht es jedoch darum, durch eine zusätzliche laterale Abtastung (lateral scan) eine Information über reflektierende Strukturen in einer Abtastebene oder (dreidimensional) über eine Volumenausschnitt zu gewinnen. Diese erfordert eine zwei- bzw. dreidimensionale Abtastung, die im einfachsten Fall durch ein- oder zweidimensionale laterale Verschiebung des Interferometers erreicht werden kann. Solche Verfahren ermöglichen eine mehrdimensionale Bild Darstellung und werden üblicherweise als OCT (Optical Coherence Tomography) bezeichnet.

[0004] Gemeinsam ist allen LCDS-Verfahren, daß Licht einer niederkohärenten (spektral breitbandig emittierenden) Lichtquelle in zwei Lichtwege, nämlich einen Meßlichtweg, der in die Probe eindringt, und einen Referenzlichtweg aufgeteilt wird und die beiden Teillichtwege vor dem Auftreffen auf einem Detektor derartig zusammengeführt werden, daß sie miteinander interferieren. Zu diesem Zweck enthält das Gerät eine Interferometer-Anordnung, die üblicherweise außer der niederkohärenten Lichtquelle einen Strahlteiler, einen Referenzreflektor und den Detektor umfaßt. Die Lichtwege zwischen diesen Elementen bilden Interferometerarme. Das Licht der Lichtquelle gelangt durch einen Lichtquellenarm zu dem Strahlteiler und wird dort aufgeteilt. Ein erster Lichtanteil wird als Meßlicht über einen Objektarm in Abtastrichtung auf das Objekt gestrahlt, während ein zweiter Lichtanteil als Referenzlicht über einen Reflektorarm zu dem Referenzreflektor gelangt. Beide Lichtanteile werden reflektiert (das Meßlicht an lichtemittierenden Stellen (light reflecting sites) in dem Untersuchungsobjekt, das Referenzlicht an dem Referenzreflektor) und auf dem jeweils gleichem Lichtweg (Objektarm bzw. Referenzarm) zu dem Strahlteiler zurückgeführt. Dort werden sie zusammengefaßt und als Detektionslicht über einen Detektionsarm dem Detektor zugeführt.

[0005] Bei der Abtastung wird die longitudinale Abtastposition (longitudinal scan position) in rascher Folge variiert. Dies geschieht üblicherweise durch Veränderung der Relation der Längen des Referenzlichtweges und des Meßlichtweges. Dadurch wird diejenige Position auf der Abtaststrecke verändert, für die die Voraussetzung für die Interferenz des Meßlichts und des Referenzlichts (nämlich, daß sich die optische Weglänge beider Lichtwege maximal um die Kohärenzlänge der Lichtquelle voneinander unterscheiden)

den) erfüllt ist. Die aktuelle Abtastposition ist dabei jeweils diejenige Position auf der Abtaststrecke, für die die optische Länge des Meßlichtweges mit der optischen Länge des Referenzlichtweges (jeweils von der Strahlteilung bis zur Strahlzusammenführung) übereinstimmt ("Kohärenzbedingung"). In der Regel wird der Referenzspiegel in Richtung des Referenzstrahles verschoben und dadurch der Referenzlichtweg verkürzt oder verlängert wird.

[0006] Nähere Einzelheiten über unterschiedliche bekannte LCDS-Geräte sind der einschlägigen Literatur zu entnehmen. Hierzu gehören folgende Publikationen:

1) WO 95/33971

2) J. M. Schmitt "Compact in-line interferometer for low-coherence reflectometry", *Optic Letters* **1995**, **419** bis **421**

3) WO 97/27468

[0007] Die Erfindung bezieht sich speziell auf Anwendungsfälle, bei denen eine extrem schnelle Longitudinalabtastung möglich sein soll. Ein wichtiges Beispiel sind laufende Untersuchungen von Mehrschichtfolien ("Multifolien") zur Produktionsüberwachung oder Qualitätskontrolle. Dabei läuft die Folie mit hoher Geschwindigkeit an einem Meßkopf vorbei und es ist laufend zu überwachen, ob eine bestimmte gewünschte Schichtstärke (von beispielsweise 100 µm) innerhalb vorbestimmter Grenzen eingehalten wird. Derartige Anwendungsfälle stellen sehr hohe Anforderungen an die Abtastgeschwindigkeit. Geht man beispielsweise davon aus, daß der Durchmesser des Oberflächenpunktes ("spot") auf den sich die Untersuchung bezieht, 8 µm beträgt und die zu untersuchende Folienbahn mit einer Geschwindigkeit von 10 m/sec transportiert wird, so müßte etwa alle 0,8 µsec ein Meßwert aufgenommen werden. Hieraus errechnet sich eine Mindestabtastrate von 1,25 MHz. Bei 256 Punkten je Longitudinalabtastung resultiert hieraus eine Wiederholrate von 4,9 kHz. Derartig hohe Wiederholraten lassen sich durch Verschieben eines Spiegels nicht erreichen.

[0008] Es sind bereits eine Reihe von Vorschlägen gemacht worden, bei LCDS-Geräten eine höhere Wiederholrate zu ermöglichen.

[0009] In der Publikation

4) K. F. Kwong et al. "400-Hz mechanical scanning optical delay line", *Optics Letters* **1993**, **558-560**

wird eine optische Verzögerungsstrecke beschrieben, die im Referenzarm eines Interferometers angeordnet werden kann. Die Variation der optischen Weglänge wird dabei durch eine Kombination eines Dispersionsgitters und eines in einem engen Winkelbereich schwenkbaren Spiegels erreicht.

[0010] Eine ähnliche Anordnung wird auch in

5) US Patent 6,111,645 und

6) G. J. Tearney et al. High-speed phase- and group-delay scanning with a grating-based phase control delay line", *Optics Letters* **1997**, **1811-1813**

als Bestandteil eines LCDS-Gerätes, das sich für sehr schnelle Abtastungen eignen soll, beschrieben. In diesen Publikationen wird das in dem Zitat 4) verwendete Grundprinzip dahingehend verallgemeinert, daß ein Dispersionsgitter in Verbindung mit einem spektralen Phasenschieber verwendet werden soll. Es werden auch nicht-mechanische Möglichkeiten zur Realisierung eines spektralen Phasenschiebers beschrieben, insbesondere ein akusto-optischer

Modulator (AOM).

[0011] Nachteilig bei diesen Vorschlägen ist, daß die doppelte Passage des Lichts durch die aus Spektralgitter und optischem Phasenschieber bestehende Verzögerungseinheit einen sehr hohen Justieraufwand bedingt, weil ein exakter Wiedereintritt in eine Single-Mode-Lichtleitfaser erforderlich ist. Außerdem ist mit diesem Lichtweg ein hoher Intensitätsverlust verbunden.

[0012] In den Zitaten 5) und 6) werden einleitend weitere Lösungsversuche des vorausgehenden Standes der Technik diskutiert:

- Eine Änderung der optischen Weglänge läßt sich durch piezoelektrische Dehnung von Lichtleitfasern (piezoelectric fiber stretching) erreichen. Dies erfordert allerdings ein relativ großes Bauteil und ermöglicht keine hinreichend hohe Wiederholrate. Außerdem ist der Energiebedarf hoch.
- Der longitudinal verschiebbare Spiegel im Referenzkanal kann durch einen rotierenden Glaswürfel ersetzt werden (vgl. auch US Patent 6,144,456). Dies führt allerdings zu einer nichtlinearen Änderung der optischen Weglänge sowie zu einer von der optischen Weglänge abhängigen Dispersion. Auch in diesem Fall können die erreichbaren Wiederholraten gehobene Ansprüche nicht befriedigen.

[0013] Auf dieser Grundlage liegt der Erfindung das technische Problem zugrunde, ein interferometrisches Gerät zur Verfügung zu stellen, das mit vertretbarem Aufwand eine extrem hohe Wiederholrate der Longitudinalabtastung ermöglicht.

[0014] Dieses Problem wird gelöst durch ein Niederkohärenzinterferometrisches Gerät zur lichtoptischen Abtastung eines Objektes durch Detektion der Position von lichtemittierenden Stellen, die längs einer in einer Abtastrichtung verlaufenden Abtaststrecke lokalisiert sind mit einem Kurzkohärenz-Interferometer, welches eine kurzkohärente Lichtquelle, einen Referenzreflektor und einen Detektor umfaßt, wobei das von der Lichtquelle ausgehende Licht mittels eines Strahlteilers auf zwei Lichtwege aufgeteilt wird, wobei ein erster Teil des Lichts als Meßlicht auf das Objekt gestrahlt und an einer lichtemittierenden Stelle, die sich an einer einstellbaren Abtastposition auf der Abtaststrecke befindet, reflektiert wird und ein zweiter Teil des Lichts als Referenzlicht auf den Referenzreflektor gestrahlt und dort reflektiert wird, die einstellbare Abtastposition auf der Abtaststrecke zur Durchführung einer Abtastung variiert wird und das Meßlicht und das Referenzlicht an einer Strahlzusammenführung so zusammengeführt werden, daß das resultierende Detektionslicht beim Auftreffen auf den Detektor ein Interferenzsignal erzeugt, das eine Information über die Stärke der Reflexion des Meßlichts in Abhängigkeit von der jeweils eingestellten Abtastposition enthält, die dadurch gekennzeichnet ist, daß in dem Lichtweg des Detektionslichts zwischen der Strahlzusammenführung und dem Detektor eine variable Wellenlängenselektionseinrichtung angeordnet ist, durch die das Detektionslicht in Abhängigkeit von seiner Wellenlänge derartig selektiert wird, daß zu dem Detektor selektiv bevorzugt Licht mit Wellenlängen gelangt, die einer vorbestimmten Folge von Wellenzahlen k entsprechen und zur Variation der Abtastposition längs der Abtaststrecke unterschiedliche Folgen der Wellenzahlen k einstellbar sind.

[0015] Im Gegensatz zu den oben erläuterten bisherigen Versuchen zur Realisierung einer extrem schnellen Longitudinalabtastung befindet sich die für die Einstellung der Abtastposition verwendete Abtasteinheit (scanning unit) im

Lichtweg des Detektionslichts nach der Zusammenfassung des Referenzlichts und des Meßlichts. Die Änderung der longitudinalen Abtastposition (longitudinal scan position) basiert bei der Erfindung nicht auf einer Änderung der Relation der Länge von Meß- und Referenzlichtweg, sondern auf der Auswahl einer definierten Folge ausgewählter Wellenlängen des interferierenden Detektionslichts. Diese Auswahl wird mittels der Wellenlängenselektionseinrichtung so variiert, daß die den ausgewählten Wellenlängen entsprechende Folge von Wellenzahlen ("k-Profil der Wellenlängenselektionseinrichtung") jeweils mit demjenigen k-Profil des Interferometers übereinstimmt, das der jeweiligen Abtastposition entspricht. Dies wird nachfolgend anhand der Figuren näher erläutert.

[0016] Das bei der Erfindung benutzte physikalische Phänomen ist als sogenannte "Müller'sche Streifen" seit langem bekannt. Gelegentlich wurde es auch bei interferometrischen Verfahren eingesetzt. In der DE 43 09 056 ist die Möglichkeit beschrieben, die Entfernung streuender Punkte bzw. deren Intensitätsverteilung in Richtung des Detektionsstrahls dadurch zu bestimmen, daß das Licht mittels eines Spektralapparates spektral zerlegt und das Spektrum mit einem ortsempfindlichen Photoempfänger, beispielsweise einer Photodiodenzeile, detektiert wird. In dem Dokument wird erläutert, daß mit einer solchen Anordnung die Intensitätsverteilung durch Fouriertransformation des detektierten Spektrums ermittelt werden kann. Dieses Verfahren ist für schnelle Longitudinalabtastungen ungeeignet, weil der Zeitbedarf für das Auslesen der Daten der Photodiodenzeile und die Verarbeitung in Form einer Fouriertransformation viel zu hoch ist. Außerdem ist das Detektorsignal wegen der erforderlichen guten Ortsauflösung sehr schwach und deswegen das S/N (signal/noise)-Verhältnis schlecht.

[0017] Durch die Erfindung werden mehrere wichtige Vorteile erreicht:

- Eine vollständige longitudinale Abtastung kann mit einer sehr hohen Wiederholrate (10–100 kHz) durchgeführt werden. Für viele Anwendungszwecke, insbesondere bei der laufenden Überwachung bewegter Objekte, ist wichtig, daß die Abtastfrequenz je Abtastpunkt noch wesentlich höher (1–10 MHz) sein kann.
- Der Meßkopf des Gerätes kann sehr gut miniaturisiert werden, weil die Abtasteinheit im Detektionslichtweg angeordnet ist, der über Lichtleitfasern mit den übrigen Teilen des Interferometers, die in einen kompakten Meßkopf integriert werden können, verbunden werden kann.
- Die Auswertung ist nicht von phasensensitiven Informationen im Detektionslichtweg abhängig und deswegen sehr robust. Auch das Risiko, daß durch Fehljustage Signalverzerrungen entstehen können, ist verhältnismäßig gering.
- Die von dem Detektor erfaßte Lichtintensität ist (insbesondere im Vergleich zu der DE 43 09 056) hoch, weil keine ortsselektive Detektion notwendig ist.
- Soweit sich die Dispersion des Lichts auf dem Meßlichtweg von der Dispersion auf dem Referenzlichtweg unterscheidet, führt dies bei vorbekannten Geräten zu Signalunschärfen. Im Rahmen der Erfindung können solche Dispersionsunterschiede durch eine entsprechende Anpassung des k-Profiles der Wellenlängenselektionseinrichtung ausgeglichen werden.

[0018] Die Erfindung wird nachfolgend anhand von in den Figuren dargestellten Ausführungsbeispielen näher erläutert. Die dargestellten und beschriebenen Besonderheiten können einzeln oder in Kombination verwendet werden, um

bevorzugte Ausgestaltungen der Erfindung zu schaffen. Es zeigen:

[0019] Fig. 1 eine Prinzipdarstellung eines erfindungsgemäßen LCDS-Gerätes,

[0020] Fig. 2 eine Prinzipdarstellung eines Teils einer ersten Ausführungsform einer variablen Wellenlängenselektionseinrichtung,

[0021] Fig. 3 eine Prinzipdarstellung eines Teils einer zweiten Ausführungsform einer Wellenlängenselektionseinrichtung,

[0022] Fig. 4 ein Diagramm zur Verdeutlichung der analogen und digitalen Selektion durch eine räumliche Lichtselektionseinrichtung,

[0023] Fig. 5 eine grafische Darstellung der Überlagerung zweier unterschiedlicher Wellenlängen,

[0024] Fig. 6 eine grafische Darstellung des k-Profiles eines Interferometers bei Reflexion des Meßlichtes an einer lichtremittierenden Stelle in einer definierten Abtastposition,

[0025] Fig. 7 eine Prinzipdarstellung einer ersten Ausführungsform einer mechanisch veränderlichen räumlichen Lichtselektionseinrichtung,

[0026] Fig. 8 eine Prinzipdarstellung einer zweiten Ausführungsform einer mechanisch veränderlichen räumlichen Lichtselektionseinrichtung,

[0027] Fig. 8a einen vergrößerten Ausschnitt aus Fig. 8,

[0028] Fig. 9 eine Prinzipdarstellung eines Teils einer dritten Ausführungsform einer Wellenlängenselektionseinrichtung,

[0029] Fig. 10 eine Prinzipdarstellung eines Teils einer vierten Ausführungsform einer Wellenlängenselektionseinrichtung,

[0030] Fig. 11 eine Prinzipdarstellung eines Teils einer fünften Ausführungsform einer Wellenlängenselektionseinrichtung,

[0031] Fig. 12 eine Prinzipdarstellung eines Teils einer sechsten Ausführungsform einer Wellenlängenselektionseinrichtung.

[0032] Das in Fig. 1 dargestellte LCDS-Gerät 1 besteht aus einem Meßkopf 2, einer Abtasteinheit 3 und einer Elektronikeinheit 4. Die Darstellung ist nicht maßstäblich und stark schematisiert. Konstruktive Einzelheiten, die für die Funktion der Erfindung unwesentlich sind, sind nicht dargestellt.

[0033] Der Meßkopf 2 und die Abtasteinheit 3 enthalten die optischen Bauteile eines Kurzkohärenz-Interferometers 6. Das Licht einer Lichtquelle 7 wird über ein Objektiv 8 in eine Single-Mode Lichtleitfaser eingekoppelt, die den Lichtquellenarm 9 des Interferometers 6 bildet. Das in dem Lichtquellenarm 9 transportierte Primärlicht wird mittels eines als Strahlteiler wirkenden optischen Kopplers 10 gleichmäßig als Meßlicht 16 in einen Probenarm 12 und als Referenzlicht 22 in einen Referenzarm 11 aufgeteilt, in denen der Lichttransport ebenfalls in Lichtleitfasern erfolgt. In dem Probenarm 12 wird das Meßlicht 16 in ein Objektiv 13 ausgekoppelt, das aus Linsen 14 und 15 besteht. Die Linse 15 refokussiert das Meßlicht 16, das durch ein Fenster 17 in Richtung auf ein Untersuchungsobjekt 18 gestrahlt wird.

[0034] Sowohl in dem Probenarm 12 als auch in dem Referenzarm 11 findet eine Reflexion statt, nämlich an einer lichtremittierenden Stelle 20 des Meßobjektes 18 bzw. an einem Referenzreflektor 21. Das reflektierte Meßlicht 16 und das reflektierte Referenzlicht 22 werden in dem optischen Koppler 10 wieder zusammengeführt und in einem Detektorarm 23 als Detektionslicht 24 zum Detektor 25 transportiert.

[0035] Insoweit ist die Konstruktion des Interferometers 6 im wesentlichen konventionell und muß nicht näher erläu-

tert werden. Statt der dargestellten Interferometeranordnung kann auch eine andere bekannte Gestaltung verwendet werden. Insbesondere kann statt der faseroptischen Realisierung mit einem faseroptischen Koppler 10 eine Freistrahlanordnung mit einem Freistrahl-Strahlteiler verwendet werden. Es ist auch grundsätzlich möglich, gesonderte optische Elemente einerseits als Strahlteiler für die Aufteilung des Lichts und andererseits als Strahlzusammenführung zu verwenden. Bevorzugt wird jedoch für die Strahlteilung und für die Strahlzusammenführung – wie dargestellt – das gleiche optische Element 10 verwendet.

[0036] Eine Besonderheit der in dem Meßkopf 2 enthaltenen Interferometeranordnung besteht darin, daß weder der Referenzarm 11 noch der Probenarm 12 Mittel enthält, durch die die Längen beider Arme (allgemeiner gesprochen die Längen des Meßlichtweges und des Referenzlichtweges) relativ zueinander verändert werden, um die longitudinale Abtastposition längs einer in Fig. 1 gestrichelt dargestellten Abtaststrecke 27 in der durch den Pfeil 28 symbolisierten Abtastrichtung zu variieren. Die für die Durchführung der Längsabtastung erforderliche Variation der Abtastposition wird vielmehr mittels der Abtasteinheit 3 bewirkt, die im Lichtweg des Detektionslichts 24 zwischen der Zusammenführung des Lichts durch den optischen Koppler 10 und dem Detektor 25 angeordnet ist.

[0037] Die Abtasteinheit 3 enthält eine insgesamt mit 30 bezeichnete variable Wellenlängenselektionseinrichtung, deren wesentliche Teile in den Fig. 2 und 3 in zwei unterschiedlichen Ausführungsformen deutlicher zu erkennen sind. Im dargestellten bevorzugten Fall schließt sie eine Spektralzerlegungseinrichtung 31 ein, durch die das Detektionslicht 24 in Abhängigkeit von der Lichtwellenlänge λ räumlich zerlegt wird. Die Spektralzerlegungseinrichtung 31 wird im dargestellten Fall von einem reflektierenden Spektralgitter 32 gebildet, jedoch können auch andere in Spektralapparaturen gebräuchliche optische Elemente (Transmissionsgitter, Prismen) verwendet werden. Das von dem Spektralgitter 32 abgestrahlte spektral zerlegte Licht wird mittels eines aus zwei Objektiven 34 und 35 bestehenden optischen Abbildungssystems 36 auf eine räumliche Lichtselektionseinrichtung 38 fokussiert. Das erste Objektiv 34 kollimiert das aus der Eintrittspupille 37 der Wellenlängenselektionseinrichtung 30 austretende Licht auf die Spektralzerlegungseinrichtung 31, während das zweite Objektiv 35 das aus der Spektralzerlegungseinrichtung 31 austretende Licht auf die Lichtselektionseinrichtung 38 fokussiert.

[0038] Die räumliche Lichtselektionseinrichtung 38 weist Lichtpassagebereiche 39 und Sperrbereiche 40 auf, die längs einer Linie alternieren, welche vorzugsweise gerade in einer in den Figuren mit x bezeichneten Raumrichtung verläuft. In jedem Fall muß die Linie der alternierenden Lichtpassage- und Sperrbereiche 39, 40 quer zu der optischen Achse A des Detektionslichts 24 verlaufen, daß das durch die Spektralzerlegungseinrichtung 31 wellenlängenabhängig aufgefächerte Licht derartig längs der Linie auf die alternierenden Lichtpassage- und Sperrbereiche auftrifft, daß es mit entsprechend wellenlängenabhängig alternierender Intensität zu dem Detektor 25 weitergeleitet wird.

[0039] Dies kann sowohl mit einer in Fig. 2 dargestellten Transmissionsanordnung als auch mit einer in Fig. 3 dargestellten Reflexionsanordnung erreicht werden. Das Detektionslicht 24 passiert die Lichtpassagebereiche 39 mit im Vergleich zu den Sperrbereichen 40 geringerer Schwächung. Beispielsweise gelangt in den Fig. 2 und 3 das auf die Mitte eines Lichtpassagebereiches 39 fallende Licht mit der Wellenlänge λ_1 nahezu ungeschwächt zu dem Detektor 25, während das mittig auf einen Sperrbereich auftretende Licht mit der Wellenlänge λ_2 nahezu vollständig blockiert wird. Das

zwischen einem Lichtpassagebereich und einem Sperrbereich auftreffende Licht mit der Wellenlängen λ_3 wird partiell geschwächt. Anhand von Fig. 3 wird deutlich, daß die Begriffe "Lichtpassagebereich" und "Sperrbereich" nicht beschränkend im Sinne einer Transmissionsanordnung zu verstehen sind, bei der das Licht durch ein optisches Element hindurchtritt. Vielmehr kann die alternierend unterschiedliche Schwächung auch durch ein reflektierendes optisches Element bewirkt werden.

[0040] Fig. 4 verdeutlicht, daß sowohl bei einer transmittierenden räumlichen Lichtselektionseinrichtung 42 gemäß Fig. 2 als auch bei einer in Fig. 3 dargestellten reflektierenden Lichtselektionseinrichtung 43 die Transmission T bzw. Reflexion R des Elementes in Abhängigkeit von der Position x vorzugsweise analog (insbesondere sinusförmig) variiert. Die in der Figur gestrichelt dargestellte digitale Selektion ist jedoch ebenfalls möglich. Entscheidend ist, daß zu dem Detektor 25 selektiv bevorzugt Licht entsprechend dem definierten k-Profil der Wellenlängenselektionseinrichtung 30 gelangt. Bevorzugt sollte die Differenz zwischen der minimalen Lichtschwächung der dem k-Profil entsprechenden Wellenlängen und der maximalen Lichtschwächung der dazwischenliegenden "gesperrten" Wellenlängen ("Selektionskontrast") möglichst groß sein.

[0041] Bei den in den Fig. 1 bis 3 dargestellten Ausführungsformen der Erfindung wird die variable Selektion von Lichtwellenlängen gemäß dem k-Profil der Wellenlängenselektionseinrichtung 30 dadurch erreicht, daß bei konstanter Winkeldispersion der wellenlängenabhängigen Zerlegung des Lichts der Abstand der alternierenden Lichtpassage- und Sperrbereiche 39, 40 der räumlichen Lichtselektionseinrichtung 38 variabel ist. Alternativ besteht auch die (weiter unten anhand von Fig. 11 erläuterte) Möglichkeit, eine Spektralzerlegungseinrichtung 31 mit variabler Winkeldispersion in Kombination mit einer konstanten räumlichen Lichtselektionseinrichtung 38 einzusetzen. Prinzipiell könnten auch beide Elemente variabel sein.

[0042] Als transmittierende variable räumliche Lichtselektionseinrichtung 38 (Fig. 1 und 2) kann beispielsweise eine elektrisch ansteuerbare LCD-Maske verwendet werden. Dabei ist der minimale Abstand benachbarter Transmissionsbereiche durch den doppelten Pixelabstand der Maske gegeben. Größere Abstände können stufenweise als Vielfaches dieses Abstandes eingestellt werden. Ein näherungsweise analoger Transmissionsverlauf läßt sich erreichen, wenn der Pixelabstand sehr viel kleiner als der kürzeste gewünschte Abstand zwischen den Transmissionsbereichen ist.

[0043] In dieser Hinsicht besonders vorteilhaft ist eine Reflexionsanordnung der in Fig. 3 dargestellten Art, bei der ein DMD (Digital Mirror Device) als variable Lichtselektionseinrichtung verwendet werden kann. Solche Mikrospiegel-Arrays werden mit sehr kleinen Pixelabständen insbesondere für Projektionssysteme hergestellt.

[0044] Nachfolgend wird das bei der Erfindung verwendete Prinzip anhand der Fig. 5 und 6 erläutert.

[0045] Fig. 5 zeigt die Überlagerung zweier am Nullpunkt in Phase schwingender Wellenzüge 45 und 46 auf einer Strecke Δz . Am Ende der Strecke Δz befinden sich die Wellenzüge wiederum in Phase, interferieren also konstruktiv. Aus der Figur kann man unmittelbar entnehmen, daß zwei Wellenzüge unter den dargestellten Bedingungen konstruktiv interferieren, wenn ihre Wellenlänge ein ganzzahliger Bruchteil von Δz ist, d. h. die Bedingung $\lambda = \Delta z/n$ gilt.

[0046] Zur Vereinfachung wurden hier nur zwei Wellenzüge betrachtet. In der Realität findet eine Interferenz vieler benachbarter Wellenzüge statt. Unter Berücksichtigung des Zusammenhangs zwischen der Wellenzahl k und der Wellenlänge λ ($k = 2\pi/\lambda$) läßt sich die allgemeine Regel ableiten, daß über eine Strecke Δz diejenigen Wellenzüge konstruktiv miteinander interferieren, deren Wellenzahlen sich um

$$\Delta k = 2\pi/\Delta z \quad (1)$$

unterscheiden.

[0047] Eine solche Interferenz findet auch in dem Dektektionsarm eines Interferometers statt. Der Nullpunkt, von dem aus die Strecke Δz zu messen ist, wird dabei durch denjenigen Punkt des Meßlichtweges definiert, für den die optischen Weglängen des Meßlichtweges und des Referenzlichtweges gleich sind. Er wird nachfolgend als Koinzidenzpunkt (point of coincidence of optical lengths) bezeichnet. Im Rahmen der Erfindung hat der Koinzidenzpunkt eine doppelte Bedeutung:

a) Einerseits markiert er den Punkt, für den die einleitend erläuterte Kohärenzbedingung erfüllt ist. Dies ist bei den üblichen LCDS-Geräten Grundlage der longitudinalen Abtastung.

b) Zugleich markiert er die Position, an der Phasengleichheit des Meßlichts und des Referenzlichts für alle Wellenlängen herrscht (sofern keine Dispersionsunterschiede bestehen). Der Koinzidenzpunkt ist deshalb der Nullpunkt der erfindungsgemäßen Longitudinalabtastung, bei der sich die jeweilige Abtastposition in einer Entfernung Δz von dem Koinzidenzpunkt befindet.

[0048] Fig. 6 zeigt ein aus einer solchen Überlagerung resultierendes Interferenzspektrum (auf den Maximalwert normierte Intensität in Abhängigkeit von der Wellenlänge) einer Lichtquelle mit einer Zentralwellenlänge $\lambda_0 = 800$ nm und einer spektralen Bandbreite $\Delta\lambda_{FWHM} = 50$ nm für eine Interferenzstrecke $\Delta z = 100$ μ m.

[0049] Experimentell kann man ein solches Spektrum beobachten, wenn man im Meßlichtstrahl eines LCDS-Gerätes gemäß Fig. 1 einen Reflektor an einem Punkt der Abtaststrecke 27 anordnet, der sich in einem Abstand Δz von dem Koinzidenzpunkt des Interferometers befindet und an der Position der räumlichen Lichtselektionseinrichtung 38 den Intensitätsverlauf in x-Richtung, d. h. die Abhängigkeit der Intensität von der Wellenlänge (mit einem ortsempfindlichen oder verschiebbaren Detektor) längs der Linie 55 analysiert. Diesem Spektrum im λ -Raum entspricht das k-Profil des Interferometers im k-Raum für den eingestellten Wert Δz .

[0050] Mathematisch ergibt sich aus der obigen Gleichung (1) ein unmittelbarer Zusammenhang zwischen dem Abstand der Maxima des k-Profiles und Δz . Im k-Raum sind demzufolge die Interferenzmaxima des k-Profiles des Interferometers äquidistant, sofern keine Dispersionsunterschiede zwischen dem Meßlichtweg und dem Referenzlichtweg berücksichtigt werden müssen. Eine longitudinale Abtastposition in einem Abstand Δz von dem Koinzidenzpunkt läßt sich demzufolge einstellen, indem die variable Wellenlängenselektionseinrichtung 30 auf eine äquidistante Folge der Wellenzahl k eingestellt wird, deren Abstände Δk gemäß Gleichung 1 berechnet sind. Da der Zusammenhang zwischen λ und k nicht linear (sondern reziprok) ist, ist das entsprechende Spektrum im λ -Raum nicht streng äquidistant. Bei Betrachtung eines relativ schmalbandigen Spektrums, wie es in Fig. 6 dargestellt ist, ist jedoch auch die Folge der selektierten λ -Werte näherungsweise konstant.

[0051] Wie bereits mehrfach erwähnt, setzen die vorstehenden Überlegungen voraus, daß keine Dispersion berücksichtigt werden muß, daß also die Abhängigkeit des Bre-

chungsindex von der Wellenlänge in dem Meßlichtweg und in dem Referenzlichtweg übereinstimmt. Da bei den gebräuchlichen LCDS-Geräten die Schürfe des Abtastsignals von Dispersionsunterschieden negativ beeinflusst wird, werden üblicherweise erhebliche Anstrengungen unternommen, durch geeignete Auswahl der Lichtleitmedien eine möglichst weitgehende Angleichung der Dispersion beider Lichtwege zu erreichen. Im Rahmen der vorliegenden Erfindung ist es hingegen möglich, Dispersionsunterschiede zwischen dem Lichtweg des Meßlichts 16 und dem Lichtweg des Referenzlichts 22 auf einfache Weise dadurch auszugleichen, daß die Folge der Wellenzahlen k die von der Längenselektionseinrichtung 30 selektiert werden, derartig von einer äquidistanten Folge abweicht, daß der Dispersionsunterschied ausgeglichen wird. Mit anderen Worten wird das k -Profil der Wellenlängenselektionseinrichtung an das unter Berücksichtigung der Dispersion nicht äquidistante k -Profil des Interferometers angeglichen. Experimentell kann dies auf relativ einfache Weise dadurch geschehen, daß man auf der vorgesehenen Abtaststrecke 27 einen Reflektor nacheinander in unterschiedliche Abtastpositionen bringt und, beispielsweise wie oben beschrieben, das resultierende Spektrum im Detektionslichtweg des Interferometers mißt. Auf diese Weise erhält man für jede Abtastposition in dem vorgesehenen Δz -Bereich ein k -Profil des Interferometers. Die gleichen k -Profile werden zur Durchführung der Abtastung auch in der Wellenlängenselektionseinrichtung 30 eingestellt und zur Durchführung einer Longitudinalabtastung durchvariiert.

[0052] Nach Passage der Wellenlängenselektionseinrichtung 30 trifft das selektierte Licht 24 auf die lichtempfindliche Oberfläche eines Detektors 25. Der Detektor 25 ist nicht ortsselektiv, d. h. er wandelt die gesamte auf ihn auftreffende Lichtintensität in ein elektrisches Signal um, das an die Elektroneinheit 4 weitergeleitet und dort ausgewertet wird. Bei der in den Fig. 1 bis 3 dargestellten bevorzugten Ausführungsform ist dem Detektor 25 jeweils eine Kondensorlinse 48 vorgelagert, die als lichtsammelndes Element 49 wirkt. Dadurch kann das gesamte durch die Wellenlängenselektionseinrichtung 30 hindurchtretende Licht mit einer vergleichsweise kleinen Detektorfläche erfaßt werden.

[0053] In der Elektroneinheit 4 wird die Intensität des von dem Detektor 25 erfaßten Lichts in Abhängigkeit von der Einstellung des k -Profils der Wellenlängenselektionseinrichtung 30 mittels einer Auswerteeinheit 50 erfaßt. Dabei ist jedem k -Profil der entsprechende Wert der Abtastposition Δz zugeordnet. Die Intensität des gemessenen Signals nach Abzug einer Grundlinie (d. h. die Abweichung der Intensität von dem Grundliniensignal) entspricht der Stärke der Reflexion an der jeweils eingestellten Abtastposition.

[0054] Obwohl die Abtastung nicht auf einer Veränderung der Relation der optischen Weglängen des Meßlichtweges (gemessen bis zu dem Koinzidenzpunkt) und des Referenzlichtweges basiert, bedeutet dies nicht, daß die Position des Referenzreflektors 21 im Referenzlichtweg apparativ fixiert sein muß. Vielmehr kann es zum Zwecke der Justierung der Apparatur vorteilhaft sein, diese Position einstellbar zu machen. Während der Abtastung bleibt die Länge des Referenzlichtweges jedoch konstant.

[0055] In den Fig. 7 und 8 sind zwei unterschiedliche Ausführungsformen einer mechanisch veränderlichen Lichtselektionseinrichtung 38 dargestellt, denen gemeinsam ist, daß auf einer drehbaren Scheibe 54 bzw. 56 streifenförmige Lichtpassage- und Sperrbereiche 39, 40 vorgesehen sind, die so verlaufen, daß sich ihr längs einer über die Scheibenoberfläche verlaufenden Linie 55 gemessener Streifenabstand bei der Drehung der Scheibe ändert. Die Lichtpassage- und Sperrbereiche können beispielsweise

durch photolithographische Bearbeitung von metallisierten Glasplatten in beliebiger Form erzeugt werden.

[0056] Bei der in Fig. 7 dargestellten Scheibe 54 laufen die Lichtpassagebereiche 39, 40 gerade und parallel. Die hinsichtlich der Wellenlängenselektion wirksame Linie 55 (d. h. die Linie, auf die das Spektrum der Spektralzerlegungseinrichtung abgebildet wird) verläuft so, daß sich der effektive Abstand der Bereiche 39, 40 bei der Drehung der Scheibe 54 ändert.

10 [0057] Bei der in den Fig. 8 und 8a dargestellten Ausführungsform verlaufen die Lichtpassage- und Sperrbereiche 39, 40 am Rand der Scheibe 56 jeweils abschnittsweise über eine Länge 1 dergestalt aufeinander zu, daß ihr Abstand bezogen auf die Linie 55, auf die das Spektrum projiziert wird, während der Drehung innerhalb des Abschnittes 57 jeweils abnimmt. Während des Durchlaufs eines Abschnittes 57 findet jeweils ein vollständiger Abtastvorgang statt, so daß eine sehr hohe Abtastgeschwindigkeit erreicht wird. Beispielsweise lassen sich mit einer Rotation von 100 Umdrehungen pro Sekunde und 100 Abschnitten 57 (mit jeweils replizierten Strukturen) Wiederholraten von 10 kHz erzielen. Da die Linienstruktur der Bereiche 39, 40 beliebig gekrümmt sein kann, ist eine Anpassung der Lichtselektion an Dispersionsunterschiede im Meß- und Referenzlichtweg möglich.

25 [0058] Im Zusammenhang mit den Fig. 2 und 3 wurde bereits die Möglichkeit beschrieben, für die räumliche Lichtselektionseinrichtung 38 ein optisches Element (LCD, DMD) zu verwenden, dessen Transmission oder Reflexion in unterschiedlichen Teilbereichen einer Fläche selektiv elektronisch einstellbar ist. Ein weiteres Beispiel für dieses allgemeine Prinzip zeigt Fig. 9. Dabei wird das von der Spektralzerlegungseinrichtung 31 kommende Detektionslicht 24 auf die Oberfläche eines AOM (Acousto-Optical Modulator) fokussiert. In dem AOM werden durchlaufende Schallwellen erzeugt. Die resultierenden Schwingungen in dem (beispielsweise aus TeO_2 bestehenden) Kristall führen dazu, daß unter einem der Beugung erster Ordnung entsprechenden Winkel eine räumliche Lichtselektion stattfindet. Der Detektor 25 und die Kondensorlinse 48 sind unter diesem Beugungswinkel zu der optischen Achse des auf den AOM 59 auftreffenden Lichts angeordnet. Im Gegensatz zu den zuvor beschriebenen Ausführungsformen sind die Lichtpassage- und Sperrbereiche 39, 40 der von dem AOM 59 gebildeten räumlichen Lichtselektionseinrichtung 38 auf deren Fläche nicht stationär, sondern laufen ständig in x-Richtung durch. Die Funktion der Erfindung wird hierdurch jedoch nicht beeinträchtigt.

45 [0059] Fig. 10 verdeutlicht, daß die in der Abtasteinheit 30 erforderliche optische Abbildung nicht notwendigerweise mittels zusätzlicher Bauelemente bewirkt werden muß. Beispielsweise kann als Spektralzerlegungseinrichtung 31 ein gekrümmtes Spektalgitter 60 zu verwenden, durch das nicht nur die spektrale Zerlegung, sondern die Kollimation des aus der Eintrittspupille 37 austretenden Lichts auf die räumliche Lichtselektionseinrichtung 38 bewirkt wird.

50 [0060] Wie bereits erwähnt, verdeutlicht Fig. 11 eine alternative Ausführungsform der variablen Wellenlängenselektionseinrichtung 30, bei der eine Spektralzerlegungseinrichtung 31 mit variabler Spreizung in Kombination mit einer konstanten räumlichen Lichtselektionseinrichtung 38 verwendet wird. In diesem Fall wird das Detektionslicht 24 nach dem Austritt aus der Eintrittspupille 37 und Kollimation durch das Objektiv 34 durch einen AOB (Acousto-Optic Beam Deflector) spektral zerlegt. Der AOB bildet ein variables Spektalgitter, dessen Gitterabstand von der angelegten elektrischen Frequenz abhängig ist. Die resultierenden Spektralanteile werden mittels des zweiten Objektivs

35 auf eine konstante räumliche Lichtselektionseinrichtung 38 fokussiert.

[0061] Fig. 12 zeigt eine variable Wellenlängenselektionseinrichtung 30, die sich von den zuvor beschriebenen Ausführungsformen insofern grundsätzlich unterscheidet, als sie nicht auf der Kombination einer Spektralzerlegungseinrichtung mit einer räumlichen Selektionseinrichtung basiert. Das aus dem Detektionslichtleiter 23 austretende Detektionslicht 24 wird dabei in einen Lichtleiter 64 mit teilreflektierenden Endflächen eingekoppelt, dessen Brechungsindex abhängig von der elektrischen Feldstärke ist. Der Lichtleiter 64 ist von zwei Elektroden 65, 66 umgeben, an die eine variable Spannung V angelegt werden kann, um die elektrische Feldstärke in dem Lichtleiter 64 zu variieren. Aufgrund des Fabry-Perot-Effektes resultiert die mit der Änderung der elektrischen Feldstärke verbundene Änderung des Brechungsindex in dem Lichtleiter 64 in einer Änderung des optischen Lichtweges, die wiederum durch Interferenzen eine Lichtwellenselektion bewirkt.

Patentansprüche

1. Niederkohärenz-interferometrisches Gerät zur licht-optischen Abtastung eines Objektes (18) durch Detektion der Position von lichtermittierenden Stellen (20), die längs einer in einer Abtastrichtung (28) verlaufenden Abtaststrecke (27) lokalisiert sind mit einem Kurzkohärenz-Interferometer (6), welches eine kurzkohärente Lichtquelle (7), einen Referenzreflektor (21) und einen Detektor (25) umfaßt, wobei das von der Lichtquelle (7) ausgehende Licht mittels eines Strahlteilers (10) auf zwei Lichtwege (11, 12) aufgeteilt wird, wobei ein erster Teil des Lichts als Meßlicht (16) auf das Objekt gestrahlt und an einer lichtermittierenden Stelle (20), die sich an einer einstellbaren Abtastposition auf der Abtaststrecke (27) befindet, reflektiert wird und ein zweiter Teil des Lichts als Referenzlicht (22) auf den Referenzreflektor (21) gestrahlt und dort reflektiert wird, die einstellbare Abtastposition auf der Abtaststrecke (27) zur Durchführung einer Abtastung variiert wird und das Meßlicht (16) und das Referenzlicht (22) an einer Strahlzusammenführung (10) so zusammengeführt werden, daß das resultierende Detektionslicht (24) beim Auftreffen auf den Detektor ein Interferenzsignal erzeugt, das eine Information über die Stärke der Reflexion des Meßlichts in Abhängigkeit von der jeweils eingestellten Abtastposition enthält, **dadurch gekennzeichnet**, daß in dem Lichtweg des Detektionslichts zwischen der Strahlzusammenführung (10) und dem Detektor (25) eine variable Wellenlängenselektionseinrichtung (30) angeordnet ist, durch die das Detektionslicht (24) in Abhängigkeit von seiner Wellenlänge derartig selektiert wird, daß zu dem Detektor (25) selektiv bevorzugt Licht mit Wellenlängen gelangt, die einer vorbestimmten Folge von Wellenzahlen k entsprechen und zur Variation der Abtastposition längs der Abtaststrecke (27) unterschiedliche Folgen der Wellenzahlen k einstellbar sind.
2. Gerät nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Dispersion in den Lichtwegen des Meßlichts (16) und des Referenzlichts (22) im Spektralbereich der Lichtquelle (7) im wesentlichen übereinstimmt und die Folge der Wellenzahlen k äquidistant ist.
3. Gerät nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß sich die Dispersion in dem Lichtweg des Meßlichts

(16) von der Dispersion in dem Lichtweg des Referenzlichts (22) im Spektralbereich der Lichtquelle (7) unterscheidet und die Folge der Wellenzahlen k derartig von einer äquidistanten Folge abweicht, daß der Dispersionsunterschied ausgeglichen wird.

4. Gerät nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die variable Wellenlängenselektionseinrichtung (30)

eine Spektralzerlegungseinrichtung (31) einschließt, durch die das Detektionslicht (24) in Abhängigkeit von der Wellenlänge des Detektionslichts (24) räumlich zerlegt wird,

eine räumliche Lichtselektionseinrichtung (38) mit längs einer Linie alternierenden Lichtpassagebereichen (39) mit geringerer Lichtschwächung und Sperrbereichen (40) mit höherer Lichtschwächung einschließt, wobei das Detektionslicht (24) die Lichtpassagebereiche (39) mit im Vergleich zu den Sperrbereichen (40) geringerer Schwächung passiert, und

ein optisches Abbildungssystem (34, 35) einschließt, durch das das von der Spektralzerlegungseinrichtung (31) abgestrahlte Licht auf die räumliche Lichtselektionseinrichtung (38) fokussiert wird,

wobei die Spreizung der wellenlängenabhängigen Zerlegung des Detektionslichts (24) durch die Spektralzerlegungseinrichtung (31) und der Abstand der alternierenden Durchlaß- und Sperrbereiche (39, 40) der Lichtselektionseinrichtung (38) zur Einstellung der Folge von Wellenzahlen k relativ zueinander variabel sind.

5. Gerät nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Winkeldispersion der wellenlängenabhängigen Zerlegung des Lichts durch die Spektralzerlegungseinrichtung (31) konstant und der Abstand der alternierenden Lichtpassage- und Sperrbereiche (39, 40) der Lichtselektionseinrichtung (38) variabel ist.

6. Gerät nach Anspruch 4 oder 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Spektralzerlegungseinrichtung (31) ein optisches Gitter (32) einschließt.

7. Gerät nach einem der Ansprüche 4 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens ein optisches Element (60) des optischen Abbildungssystems (36) zugleich Bestandteil der Spektralzerlegungseinrichtung (31) ist.

8. Gerät nach einem der Ansprüche 4 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß die räumliche Lichtselektionseinrichtung ein reflektierendes optisches Element (43) aufweist, auf das das Detektionslicht (24) eingestrahlt wird und das in den Lichtpassagebereichen (39) und in den Sperrbereichen (49) selektiv unterschiedlich reflektiert.

9. Gerät nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Lichtselektionseinrichtung (38) eine drehbare Scheibe (54, 56) mit streifenförmigen Lichtpassage- und Sperrbereichen (39, 40) aufweist, die so verlaufen, daß sich ihr längs einer über die Scheibenoberfläche verlaufende Linie (55) gemessener Streifenabstand bei der Drehung der Scheibe (54, 55) ändert.

10. Gerät nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die räumliche Lichtselektionseinrichtung (38) ein optisches Element (42, 43, 59) einschließt, dessen Reflexion oder Transmission in unterschiedlichen Teilbereichen einer Fläche selektiv elektronisch einstellbar ist.

11. Gerät nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß in dem Lichtweg des Detektionslichts (24) zwischen der Lichtselektionseinrichtung (38) und dem Detektor (25) ein lichtsammlendes optisches Element (49) angeordnet ist, um das De-

tektionslicht (24) auf den Detektor (25) zu komprimieren.

Hierzu 5 Seite(n) Zeichnungen

5

10

15

20

25

30

35

40

45

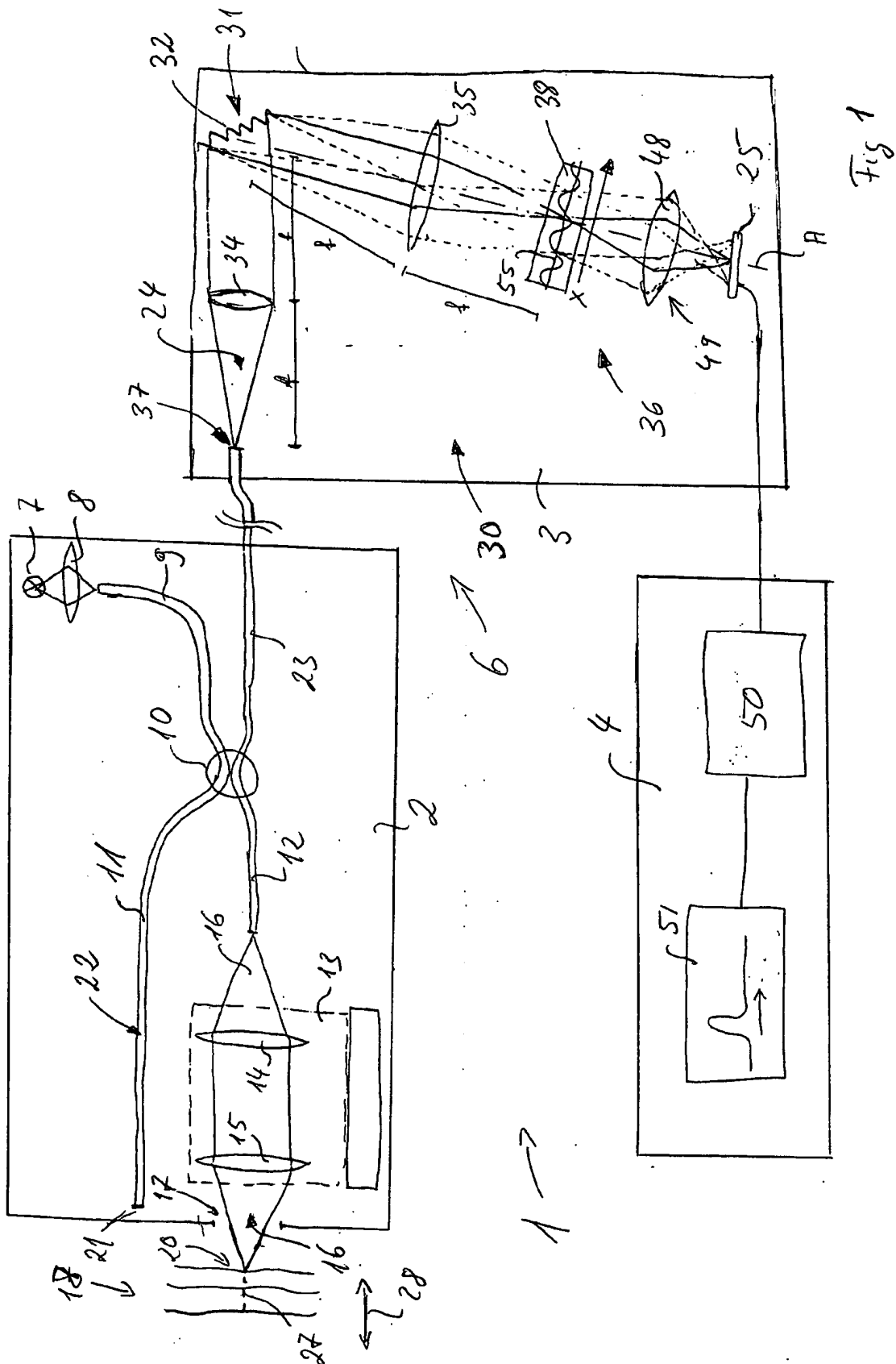
50

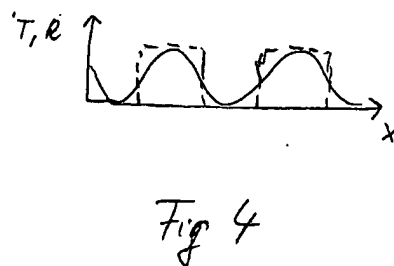
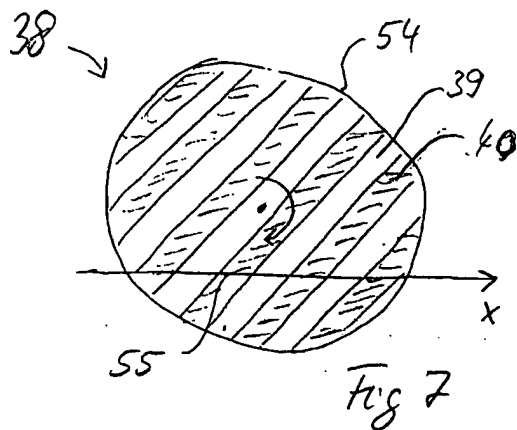
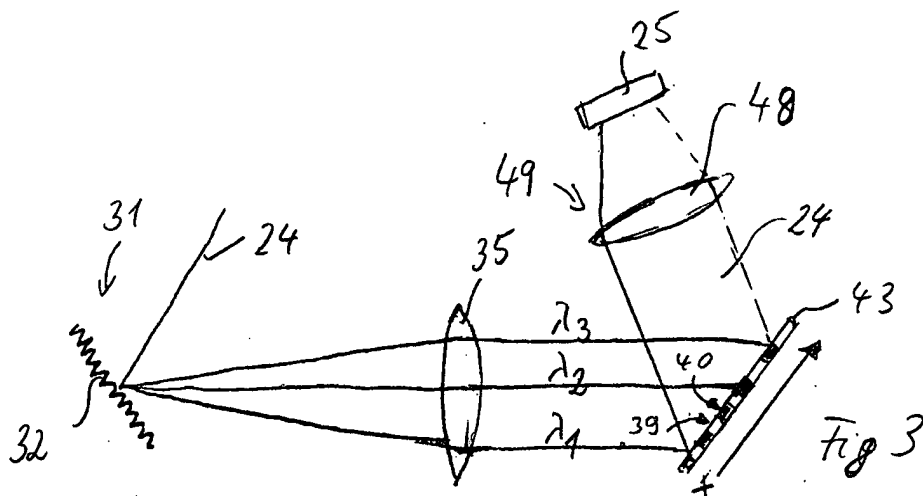
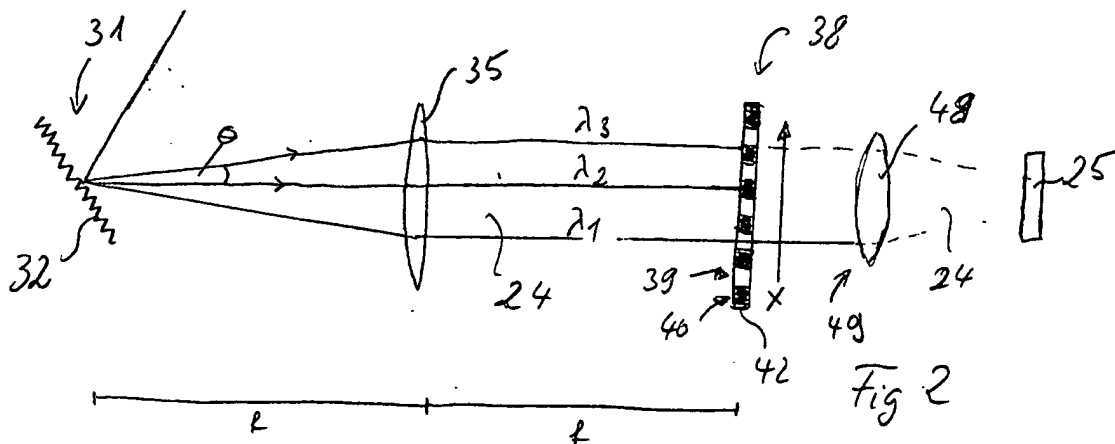
55

60

65

- Leerseite -





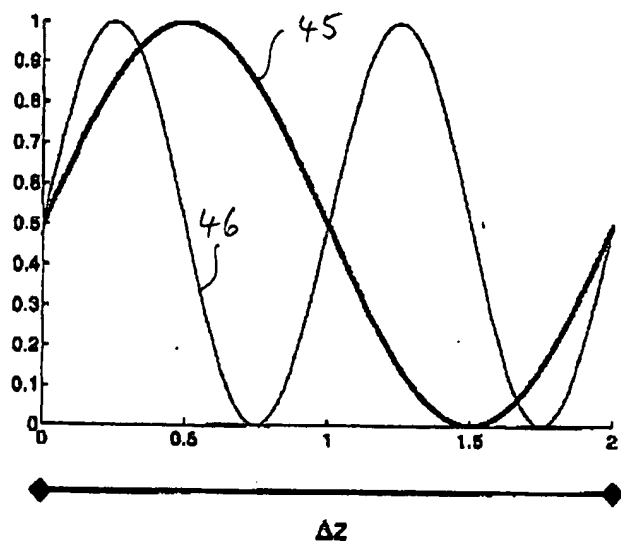


Fig 5

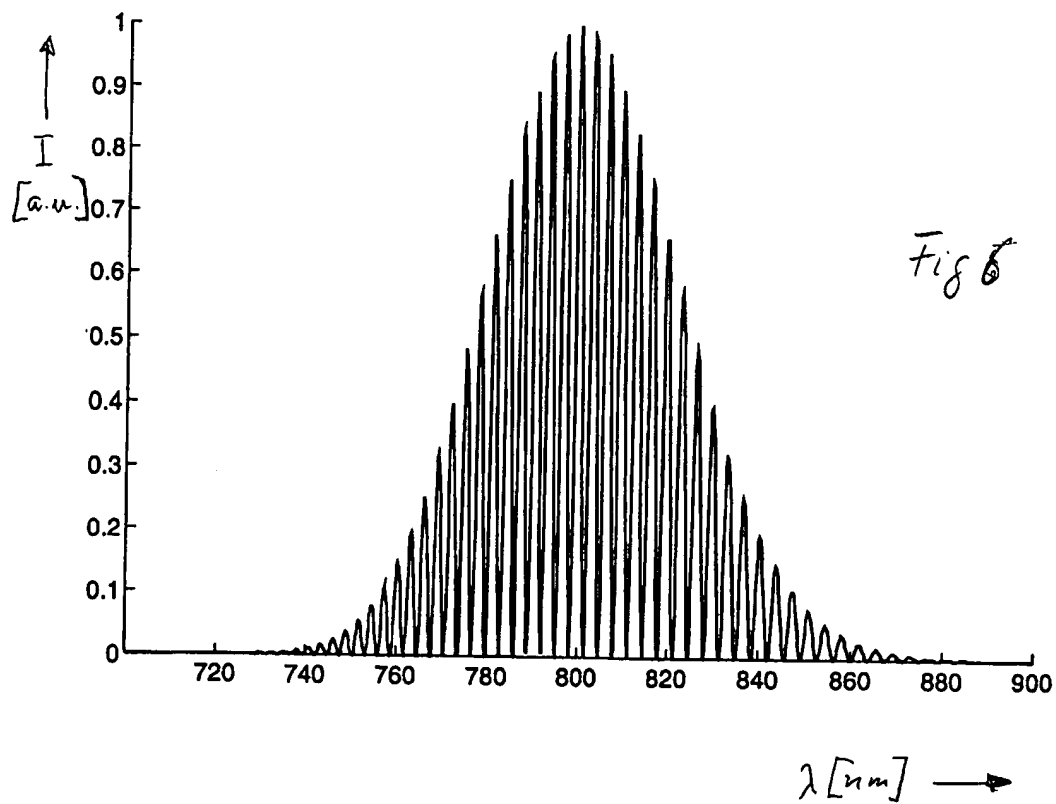
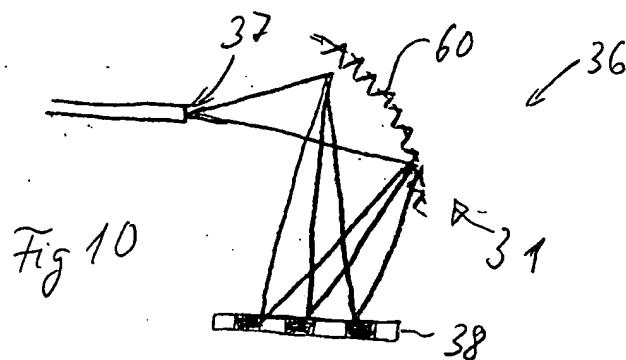
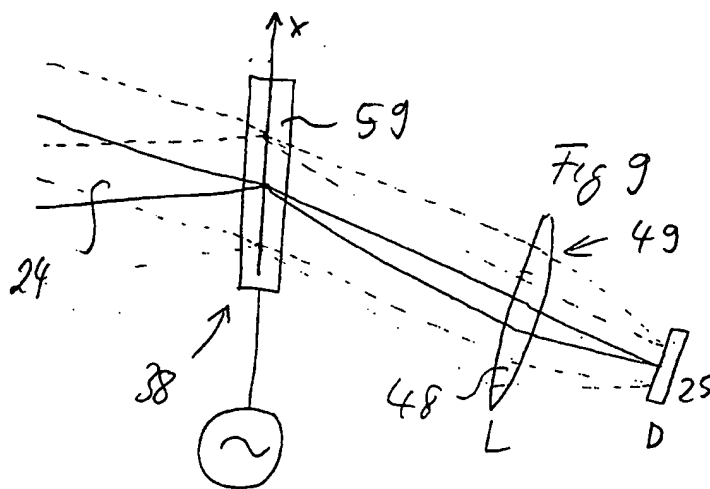
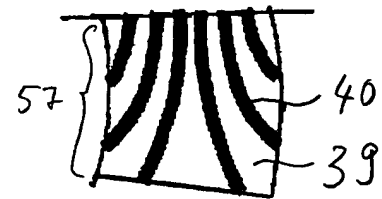
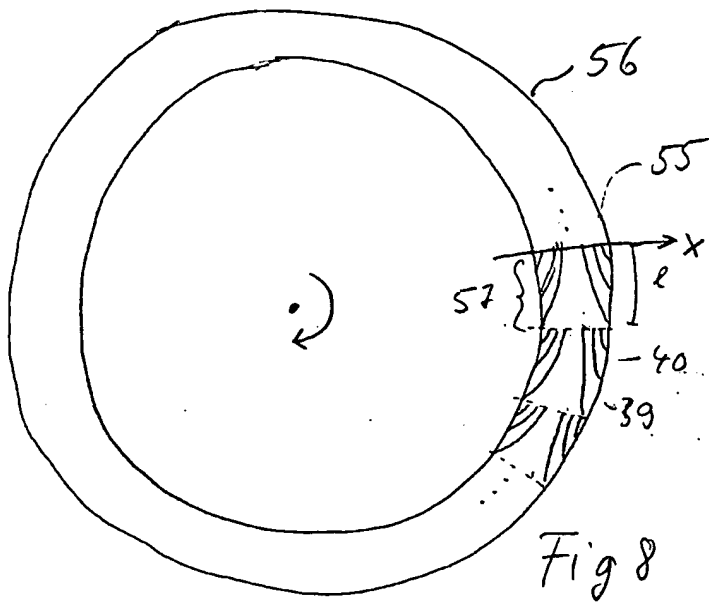
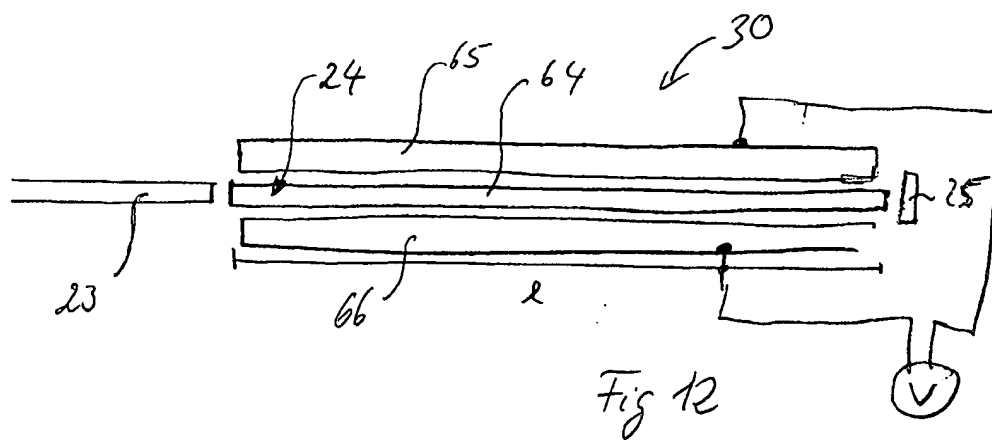
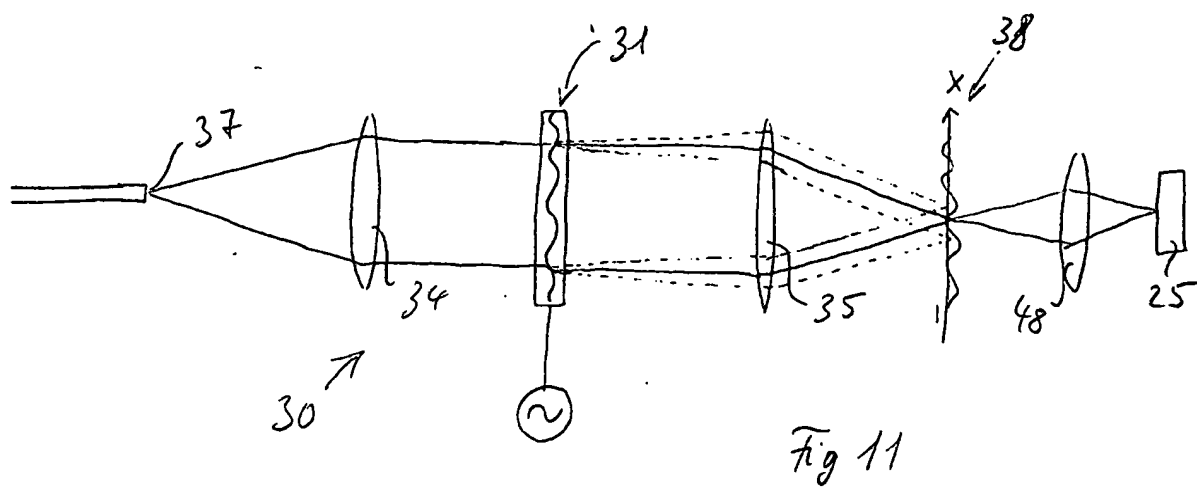


Fig 6





**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☐ FADED TEXT OR DRAWING
- ☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☒ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.